

На правах рукописи

ГРИЩЕНКО Виктор Сергеевич

МЕТРИКИ РЕПУТАЦИИ:
модели и алгоритмы построения
открытых информационных сред

05.13.18 — математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Екатеринбург
2007

Работа выполнена на кафедре алгебры и дискретной математики
математико–механического факультета ГОУ ВПО “Уральский
государственный университет им. А. М. Горького”

Научный руководитель:
доктор физико-математических наук, профессор
М. В. Волков

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
А. А. Захаров

кандидат физико-математических наук, доцент
С. И. Кацман

Ведущая организация:

Уфимский государственный авиационный технический университет

Защита состоится 23 мая 2007 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета К 212.286.01 по присуждению ученой степени кандидата физико-математических наук при ГОУ ВПО “Уральский государственный университет им. А. М. Горького” по адресу: 620083, г. Екатеринбург, пр-т Ленина, 51, комн. 248.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ГОУ ВПО “Уральский государственный университет им. А. М. Горького”.

Автореферат разослан “ ” _____ 2007 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор физико–математических наук,
профессор

В.Г. Пименов

1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Ситуация, сложившаяся в наши дни в области производства и обработки информации, часто характеризуется как “информационный взрыв”. Такие наблюдаемые параметры, как количество научных публикаций и изданий, количество страниц во Всемирной Сети, трафик в интернете, растут экспоненциально [12, 14]. В подобных условиях становятся все более важными средства автоматического упорядочения и обработки информации – такие, как поисковые машины, рекомендующие системы и т. п.

Тенденция последних лет заключается в том, что широкое распространение уже собранной информации (публикация) более не представляет проблемы. Всемирная паутина для текста, одноранговые (peer-to-peer, P2P) сети для мультимедийного содержимого приблизили издержки распространения к нулю. На первый план поэтому выходят проблемы сбора рассеянной информации и распространения немассовой (т. е. интересной относительно узкому кругу лиц) информации. При этом становится популярной так называемая концепция “Длинного хвоста”. Под этим названием подразумеваются наблюдаемые в самых различных сферах степенные распределения популярности [3], когда многочисленные источники немассовой информации в совокупности представляют не меньший интерес, чем относительно малочисленные источники – “звезды”. В ответ на указанные запросы возникли сначала форумы и блоги (веб-дневники) с комментариями-репликами, а затем вики с совместной правкой содержимого.

Сбор мнений от неопределенно широкого круга лиц требует значительной открытости среды, т. е. возможности легко вносить свои мнения. При этом неизбежно столкновение с принципиальной проблемой, чрезвычайно актуальной для Сети последние десять лет, – засорением информационных сред, действующих по принципу push (проталкивание содержимого к потребителю). Для злонамеренного проталкивания нерелевантных материалов в рекламных или мошеннических целях принят термин “спам”. Спам существует в почте, интернет-пейджерах, блогах, вики, поисковых машинах – везде, где есть элемент push. В средах, действующих по принципу pull (вытягивание информации пользователем), например, в FTP (протокол передачи файлов) или в “чистом” WWW, спама нет. Но в них и сбор рассеянной информации непрост.

Итак, фокус инноваций переместился на сбор, фильтрацию и адресное распространение информации, чаще локального либо узкоспециального значения, и основное препятствие на этом пути – это засорение, ограничивающее открытость информационных сред.

Один из подходов к борьбе с засорением – метрики репутации, отслеживание прошлого поведения участников. Для борьбы со спамом в электронной почте, например, широко применяются репутационные инструменты – так называемые белые и черные списки (т.е. списки добросовестных и недобросовестных почтовых серверов соответственно). В том или ином виде метрики репутации также используются в поисковых машинах, онлайн-аукционах, на “социальных” сайтах и т.д.

С изменением задач изменилась и топология информационных взаимодействий: от централизованного распространения центр тяжести смещается к социальным сетям, сообществам и группам. В плане осуществления контроля как замена централизованным механизмам, имеющим свой потолок масштабирования, активно опробуется общий подход “сети доверия” (Web-of-Trust) или социальных сетей, заключающийся в использовании транзитивных свойств устоявшихся социальных связей [1, 8, 15, 17]. Подход базируется на механизмах, доказавших свою работоспособность в реальном мире именно для решения проблем интересующего нас типа. Тем не менее, его использование в онлайн-сервисах пока имеет частный, ограниченный характер.

Диссертация затрагивает такие темы, как совместное фильтрование, социальные сети, системы доверия и репутации, одноранговые сети. Все эти направления активно исследуются в последние 8–10 лет [2, 4–7, 9–11, 13, 16]. По каждому из них существуют уже вполне удавшиеся продукты и проекты, такие, как рекомендующие системы Amazon и Epinions, онлайн-социальная сеть LinkedIn, алгоритм PageRank, одноранговая сеть BitTorrent, открытая онлайн-энциклопедия Wikipedia.

Цель работы. Используя математическую модель распространения информации в среде с социальной топологией, разработать алгоритмы функционирования распределенной вики-сети, использующей явную работу с мнениями читателей и репутационные механизмы для массовой распределенной обработки и фильтрации материала. Оценить вычислительную сложность разработанных алгоритмов. Реализовать алгоритмы в программе-прототипе.

Задачи.

- Разработать адекватную формальную модель мнений, репутации и рекомендаций, образующих сеть доверия.
- На основе построенной формальной модели социальной сети создать алгоритмы для сбора, распространения, фильтрации и обработки информации в максимально открытой среде.

- Дать теоретические оценки вычислительной сложности разработанных алгоритмов.
- Реализовать алгоритмы в виде работающих программных комплексов или их прототипов.
- Реализовать сеть доверия для персональных коммуникаций (в первую очередь, e-mail) как репутационный механизм для борьбы со спамом.

Направления исследования.

1. Репутационная аксиоматика, основанная на теории нечетких множеств, отражающая все требуемые явления: ответственность, репутацию, рекомендации, и определяющая математическую модель – основу дальнейшей работы.
2. Маршрутизация в безмасштабных сетях как метод построения рекомендационных цепочек на социальном графе.
3. Топологические аспекты распространения общего знания в социальных сетях в предположении безмасштабной топологии.
4. Создание алгоритмов среды обработки информации, действующих поверх социальной сети и использующих эту сеть для распространения, фильтрации и хранения произвольной информации.

Этапы работы. На теоретическом этапе исследования была разработана полностью персонализированная репутационная аксиоматика. Затем на основе теории сложности вычислений и анализа топологических особенностей целевого семейства графов были разработаны полностью децентрализованные алгоритмы, реализующие принципы репутационных вычислений применительно к информационным средам. С использованием модели социальной сети на основе графов Эрдеша–Реньи и безмасштабных графов была получена оценка вычислительной сложности разработанных алгоритмов, оказавшейся приемлемой с точки зрения возможностей практической реализации. На заключительном этапе исследования разработанные алгоритмы составили ядро программных комплексов, имеющих практическую ценность.

Методы исследования. В работе используются методы теории графов и нечеткой логики, а также методы дискретной оптимизации, оценки вычислительной сложности алгоритмов и экспериментальные данные по функционированию сетевых протоколов интернета.

Основные результаты, выносимые на защиту:

- Репутационная аксиоматика.
- Теорема о достижимости информации в сети с социальной топологией.
- Социальная вики-сеть Бульон – модель, алгоритмы и программное обеспечение.
- Маршрутизационная схема с топонимами для безмасштабных сетей: решение задачи о кратчайших путях на безмасштабном графе с сублинейной вычислительной нагрузкой на узел.
- Репутационная система P2PWL (общие белые списки для почтовых серверов) – модель, алгоритмы и программное обеспечение.

Достоверность и обоснованность. Работоспособность алгоритмов проверяется как аналитически, так и через создание реально работающих программ. Значительная часть работы посвящена вопросам вычислительной сложности алгоритмов. Эффективность маршрутизационных алгоритмов проверяется через вычислительные эксперименты на реальных и синтетических топологиях и сверку результатов с классическими алгоритмами. Ключевые аспекты работоспособности сети Бульон рассматриваются на аналитических моделях, общая работоспособность проверяется через создание работающего прототипа. Теоретическая работоспособность репутационной сети обмена белыми списками P2PWL вытекает из работоспособности вышеупомянутых маршрутизационных алгоритмов. Базовый прототип P2PWL запущен в промышленную эксплуатацию на клике почтовых серверов г. Екатеринбурга.

Научная новизна. Предлагаемая в данной работе модель метрики доверия и репутации отличается от моделей, ранее встречавшихся в литературе, тем, что опирается на интуитивно понятные аксиомы, сформулированные в терминах теории нечетких множеств.

В топологической и сложностной части работы автором предложено понятие степенного разлома, а также получены некоторые новые результаты по теории безмасштабных сетей. В частности, установлено, что функции коммуникационного ядра безмасштабной сети обеспечивает *геометрическая* пропорция числа вершин наибольшей степени (так называемых “хабов”), что важно как для вопроса о маршрутизации, так и для задачи о распространения информации в безмасштабной сети.

Разработанный автором оригинальный алгоритм маршрутизации с именами малого сублинейного размера (топонимами) впервые решает

задачу о кратчайших путях для безмасштабных графов с сублинейной сложностью в расчете на узел. (Задача о всех кратчайших путях для произвольных графов имеет линейную сложность на узел, и известно, что этот результат в общем случае неулучшаем.) Наблюдения за реальными сетями и аналитические результаты показывают, что сети безмасштабной топологии распространены весьма широко, в силу чего предлагаемый алгоритм маршрутизации имеет большое практическое значение.

Предложена модель издержек коммуникации, иллюстрирующая фундаментальную важность безмасштабной топологии для информационных сетей различного рода.

Разработанная автором среда Бульон, а также лежащий в ее основе протокол, впервые реализуют совместную работу с редактируемым гипертекстом в одноранговой сети (внесение, правку, фильтрацию, распространение гипертекста). Ранее известные среды (например, Freenet) позволяли лишь хранить документы в одноранговой сети.

Разработанное автором программное обеспечение P2PWL является, по-видимому, первой попыткой расширить возможности “белых списков”, основанной на открытом решении в одноранговой архитектуре.

Практическая значимость и внедрение результатов. Разработанный автором программный комплекс Бульон, а также лежащий в его основе протокол, характеризуются следующими особенностями:

- это гипертекстовая среда, где документы связаны гиперссылками;
- это редактируемая среда с возможностями совместной обработки документов (wiki);
- это открытая одноранговая сеть с социальной топологией (такой тип сети также называется F2F, friend-to-friend);
- в этой среде репутации и мнения пользователей (рекомендации) используются для совместного фильтрования материала.

По набору возможностей среда Бульон является уникальной; по-видимому, нет онлайн-среды, имеющей более двух из перечисленных характеристик. По полезному функционалу Бульон сочетает возможности P2P сети, рекомендующей системы, онлайн-социальной сети, браузера и текстового процессора. В отношении базовых принципов распространения информации среда Бульон использует как pull (“вытягивание” информации пользователем), так и push (“проталкивание” информации к пользователю). Характерная проблема push-сред, а именно засорение, решается фундаментальным образом, через отсутствие полной связности участников. Участник имеет возможность протолкнуть информацию

лишь в некоторую свою социальную окрестность. Этот подход, имитирующий социальные процессы реального мира, является принципиально новым для сетевых сред.

Если опыт эксплуатации среды Бульон большим количеством пользователей подтвердит теоретические оценки, данная технология может стать основой хранилища знаний, значительно превосходящего существующие образцы по охвату и глубине представленных знаний и удобству использования. Такая среда может быть более полным воплощением метафор “социального вики”, “Редактируемой Паутины”, а также “Социальной Паутины”, чем все теперешние модели социальных сетей.

Использование P2PWL в объеме самого базового функционала уже сегодня позволяет преодолеть основной недостаток “серых списков” – задержку писем от ранее неизвестных отправителей (что также означает и задержку практически всех писем первое время после установки). Так, белый список почтового сервера plotinka.ru, сформированный с помощью P2PWL, на сегодня включает порядка 10 тысяч других почтовых серверов, т. е. практически все местные, заметные федеральные и самые значимые из мировых почтовых серверов представлены в этом списке.

Апробация и публикации. Все основные результаты диссертации отражены в 8 публикациях, среди которых 2 развернутых журнальных статьи, 3 развернутых статьи в трудах международных конференций и 3 тезисов докладов на отечественных конференциях и семинарах. Все публикации выполнены без соавторов.

Результаты диссертации представлялись и докладывались на международных конференциях в Ирландии (Workshop on Friend of a Friend, Social Networking and the Semantic Web, Голуэй, 2004), Японии (Workshop on Trust, Security, and Reputation on the Semantic Web, Хиросима, 2004) и Греции (SecureComm Workshop on the Value of Security through Collaboration, Афины, 2005), а также на конференциях молодых ученых в Москве и Екатеринбурге и на научных семинарах “Теоретические компьютерные науки” (рук. Д. С. Ананичев, М. В. Волков) и “Системный семинар” (рук. М. В. Баклановский, В. Ю. Попов) в Уральском государственном университете.

Структура работы. Диссертационная работа состоит из 124 страниц машинописного текста, включающего введение, пять глав и заключение, а также приложение, глоссарий, рисунки, таблицы и список литературы из 120 наименований.

2 ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируется цель, обсуждается научная новизна и практическая значимость полученных результатов. В качестве основы дальнейшей работы предлагаются понятия открытости и контроля как ключевых свойств информационной среды.

В **главе 1** дается краткий обзор современных результатов в смежных с тематикой диссертации областях – онлайновых социальных сетях, метриках доверия и репутации, рекомендующих системах, одноранговых сетях и пр. Рассматриваются особенности топологии социальных сетей, а именно, безмасштабной (scale-free) топологии.

В качестве основного признака безмасштабной топологии сети обычно указывается степенное распределение степеней вершин: число вершин степени x есть величина порядка $x^{-\gamma}$, где $2 < \gamma < 3$. В частности, что у основной массы вершин связей мало, но у некоторого малого количества вершин (“хабов”) связей очень много. Другим признаком безмасштабности считается некоррелированность степеней соседей. В безмасштабных сетях реального мира наблюдается высокий коэффициент кластеризации, т.е. высока вероятность того, что два соседа случайной вершины будут соседями и между собой. Тем не менее, все указанные признаки недостаточны для строгого определения, и понятие безмасштабного графа на сегодня скорее естественно-научное, чем математическое. К классу безмасштабных относят граф ссылок в WWW, граф маршрутизаторов в интернете, граф автономных систем интернета, граф академических соавторств, граф e-mail контактов и т.д.

В **главе 2** дается анализ общих вопросов, связанных с распространением информации в социальных сетях, репутационными метриками и пр. Выделяется типовой подход к решению некоторых задач на графах, названный “степенной разлом”. Степенной разлом – это разделение задачи сложности $O(N)$ на две задачи сложностей $O(P)$ и $O(Q)$ – так, что $N \sim PQ$, а сложность “разложенной” задачи имеет порядок $O(P + Q)$, т.е. сублинейный. Приводятся различные примеры применения разломов на практике, в основном – в задачах о маршрутизации. Исследуются подходы к решению задач сложностного и топологического характера, связанных с реализацией метрик репутации на безмасштабных графах; в основном, это задачи о маршрутизации и распространении информации.

На основе известных свойств безмасштабной топологии делается вывод о том, что принцип подтверждения сообщения промежуточным узлом, лежащий в основе Бульон, позволит передавать сообщение из одной произвольной точки сети в другую произвольную, в идеале, за два

промежуточных прочтения и подтверждения – независимо от размера сети. Затем из моделей распространения информации на основе графов Эрдеша-Реньи и безмасштабных графов, а также других соображений выводится основная *теорема о достижимости*: материал в сети вида Бульон доступен большинству участников, если он распространился на сублинейную долю узлов N^a , а каждый участник может запрашивать свою соответствующую сублинейную окрестность N^b (здесь N - число узлов сети, а $a + b \leq 1$).

Из свойств скелета безмасштабного графа делается заключение, что его коммуникационное ядро, образуемое хабами, имеет сублинейный размер относительно всего графа.

Детально исследуется маршрутизация с топонимами на реальных и синтетических безмасштабных графах. Описывается экспериментальная проверка теоретического вывода о сублинейной сложности решения задачи ократчайших путей на безмасштабных графах, которая подтверждает практическую реализуемость предлагаемого подхода. Вводится и исследуется модель издержек коммуникации, из которой следует, что свойство безмасштабных сетей – сверхмалый диаметр – принципиально важно для масштабирования сети, а значит, ставка именно на безмасштабную топологию оправдана.

В **главе 3** предлагается репутационная аксиоматика, основанная на теории нечетких множеств. В основе предложенной репутационной теории лежит определение репутации как средней меры соответствия прежних сообщений, за которые были ответственны те же участники, и гипотеза, состоящая в том, что прошлое поведение (т. е. репутация) в некоторой степени предсказывает будущее поведение. На основе этих положений конструируется многоуровневая репутационная модель, где каждый следующий уровень – репутационная рефлексия относительно предыдущего уровня. Таким образом, если нулевой уровень – это ответственность за собственные сообщения, то первый уровень – это мнения относительно чужих сообщений, второй – мнения относительно чужих мнений (т. е. мнения о репутации других участников), а аналогом третьего уровня могут служить рейтинги интернет-каталогов или кредитных бюро, т. е. мнения о качестве рекомендаций рекомендателей. Затем рассматриваются случаи групповой и персональной коммуникации и многоуровневая модель применяется к этим случаям. В результате возникают две модели работы с сообщениями: модель групповых коммуникаций (“горизонтальная”, соответствует таким средам, как Usenet, списки рассылок, форумы) и модель персональных коммуникаций (“диагональная”, соответствует e-mail).

Глава 4 посвящена проекту Бульон, реализующему горизонтальную

модель. Бульон имеет целью создание среды, в наибольшей степени сочетающей принципы открытости и контроля. С технической точки зрения, Бульон – это одноранговая вики-сеть, работающая в социальной топологии, где содержимое распространяется вдоль доверительных связей с помощью репутации и рекомендаций. С пользовательской точки зрения, Бульон – гибрид браузера, текстового процессора и интернет-пейджера, позволяющий как просмотр, так и совместное редактирование гипертекста в режиме почти-реального времени.

Распространение сообщений в сети Бульон ограничивается таким понятием, как репутационное расстояние (согласно горизонтальной модели). Изначально находясь на узле автора, сообщение может быть доступно его друзьям и друзьям друзей, конечно, если репутация автора высока. В случае, если кто-то из них его прочитал и подтвердил, оно начинает быть доступно уже друзьям друзей подтвердившего, т.е. распространяется в социальной сети. В отличие от клиент-серверного общения, которое сводится к диалогу, многосторонний обмен информацией в одноранговой сети представляет из себя менее тривиальный процесс, включающий *распространение* запросов и возврат ответов. В главе рассматриваются различные архитектурные выборы и связанная с ними вычислительная сложность алгоритмов. Нормальное функционирование системы предполагается при условии обработки каждым узлом до 100 сообщений в секунду, что незначительно в топологии P2P (100 общ/сек на одну машину) и довольно дорого в серверном решении ($100n$ общ/сек на сервер, где n – количество пользователей сервера).

На настоящий момент разработанное автором программное обеспечение Бульон версии 2 вполне функционально и доступно для публичного тестирования по адресу <http://oc-co.org>.

В **главе 5** излагается принцип работы антиспамовой технологии P2PWL – обмен автоматически создаваемыми “белыми списками” между почтовыми (SMTP) серверами. “Белые списки” включают те почтовые сервера, письма от которых принимаются безусловно. Им противоположны “черные списки”, которые суть просто списки контролируемых спамерами машин. Под “серыми списками” понимается механизм задержки получения почты от ранее неизвестных отправителей, создающий ряд труднопреодолимых проблем для спамеров. Технология P2PWL расширяет возможности белых списков и является вспомогательным инструментом к системе серых списков; общие белые списки P2PWL исключают задержки писем в подавляющем большинстве случаев. В перспективе P2PWL реализует диагональную модель. Необходимые системе P2PWL вычислительные затраты на каждом узле (SMTP-сервере) оцениваются как сублинейные относительно количества участников и, принимая во

внимание прочие соображения, являются не только посильными, но и не очень значительными.

На настоящий момент созданная автором система P2PWL действует на нескольких серверах и доступна по адресу <http://oc-co.org/p2pwl>.

В **приложении А** приводятся детальные данные по вычислительному эксперименту по проверке модели маршрутизации с топонимами (малыми сублинейными именами) на реальных (соавторств, автономных систем) и синтетических (Барабаши–Альберт) безмасштабных графах.

3 ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Разработана репутационная аксиоматика на основе нечетких множеств. На базе аксиоматики построены горизонтальная и диагональная модели информационных пространств со встроенными метриками репутации. Полученные и привлеченные результаты по сложности маршрутизации, распространения и поиска информации в безмасштабных графах убедительно свидетельствуют в пользу вывода о практической применимости горизонтальной и диагональной моделей в сетях с произвольно большим количеством участников.

Разработана концепция топонимов (имен малого сублинейного размера) для задачи о маршрутизации на безмасштабном графе. Вычислительный эксперимент доказал эффективность алгоритма – задача о кратчайших путях решена с сублинейной нагрузкой на узел.

Разработан протокол для социальной одноранговой сети обработки произвольного XML, реализующей горизонтальную модель. Разработан программный комплекс, использующий этот протокол для поддержки однорангового вики в социальной сети – система Бульон. В принципах устройства сети Бульон удалось отойти от классических ограничений онлайн-сред – серверных границ и использования аккаунтов в качестве механизма контроля доступа. Проблема сбора, фильтрации и распространения информации решается через явное вовлечение мнений пользователей и механизм социальных сетей.

Основан новый репутационный инструмент, дополняющий серые и черные списки – система общих белых списков P2PWL. Уже на сегодня P2PWL представляет значительную практическую ценность. В дальнейшем эта система способна развиваться до полноценной реализации диагональной модели.

Работы автора по теме диссертации

1. В. С. Грищенко. *Исчисление мнений* // Известия Уральского государственного университета. Серия Компьютерные науки и информационные технологии. 2006. № 43. С. 139–153.
2. В. С. Грищенко. *Некоторые новые подходы к маршрутизации в Интернете* // Известия Уральского государственного университета. Серия Компьютерные науки и информационные технологии. 2006. № 43. С. 198.
3. В. С. Грищенко *Метрики репутации и борьба за релевантность* // Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых “Безопасность информационного пространства”. – Изд-во УрГУПС: Екатеринбург, 2006. С. 89.
4. В. С. Грищенко *Черви Уорхола и модульные черви: перспективы эпидемий в Интернет* // Труды XXIV конференции молодых ученых механико-математического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова, Т. I. Изд-во МГУ: Москва, 2002. С. 62–64.
5. V. S. Grishchenko. *Redefining web-of-trust: reputation, recommendations, responsibility and trust among peers* // Proceedings of the First Workshop on Friend of a Friend, Social Networking and the Semantic Web. National University of Ireland, Galway. 2004. P. 75–84.
6. V. S. Grishchenko. *A fuzzy model for context-dependent reputation* // Proceedings of the International Semantic Web Conference 2004 Workshop on Trust, Security, and Reputation on the Semantic Web. Hiroshima, 2004. (Электронное издание CEUR Workshop Proceedings, ISSN 1613-0073, Vol 127)
7. V. S. Grishchenko. *Computational complexity of one reputation metric* // Proceedings of IEEE/Create-Net SecureComm 2005 Workshops. SECOVAL Workshop. Athens, 2005. (Электронное издание, ISBN 0-7803-9469-0.)
8. V. S. Grishchenko. *Distance-based reputation metrics are practical in p2p environments* // International Journal of Metadata, Semantics and Ontologies. 2006. Vol. 1, № 2. P. 133–140.

Список литературы

- [1] *Abdul-Rahman A., Hailes S.* A distributed trust model // NSPW '97: Proceedings of the 1997 workshop on New security paradigms. — New York, NY, USA: ACM Press, 1997. — P. 48–60.
- [2] *Abdul-Rahman A., Hailes S.* Using recommendations for managing trust in distributed systems // Proceedings of the IEEE Intl. Conference on Communication, Malaysia. — 1997.
- [3] *Anderson C.* The Long Tail. — Random House Business Books, 2006. — July.
- [4] Chord: a scalable peer-to-peer lookup protocol for internet applications / I. Stoica, R. Morris, D. Liben-Nowell et al. // *IEEE/ACM Trans. Netw.* — 2003. — Vol. 11, no. 1. — P. 17–32.
- [5] *Cohen B.* Incentives build robustness in bittorrent. — <http://www.bittorrent.org/bittorrentecon.pdf>.
- [6] *Despotovic Z., Aberer K.* P2p reputation management: Probabilistic estimation vs. social networks // *Computer Networks.* — 2006. — March. — Vol. 50, no. 4. — P. 485–500.
- [7] Evaluating collaborative filtering recommender systems / J. L. Herlocker, J. A. Konstan, L. G. Terveen, J. T. Riedl // *ACM Trans. Inf. Syst.* — 2004. — Vol. 22, no. 1. — P. 5–53.
- [8] *Golbeck J., Hendler J.* Accuracy of metrics for inferring trust and reputation in semantic web-based social networks // *Lecture Notes in Computer Science.* — 2004. — January. — Vol. 3257. — P. 116–131.
- [9] *Kamvar S. D., Schlosser M. T., Garcia-Molina H.* The eigentrust algorithm for reputation management in p2p networks // WWW '03: Proceedings of the 12th international conference on World Wide Web. — New York, NY, USA: ACM Press, 2003. — P. 640–651. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=775242>.
- [10] *Marti S., Garcia-Molina H.* Taxonomy of trust: Categorizing p2p reputation systems // *Computer Networks.* — 2006. — March. — Vol. 50, no. 4. — P. 472–484.
- [11] *Massa P., Avesani P.* Controversial users demand local trust metrics: An experimental study on epinions.com community. // Proc. of

- Twentieth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-05), Pittsburgh, Pennsylvania. — 2005. — P. 121–126. <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/aaai/aaai2005.html#MassaA05>.
- [12] *Odlyzko A.* Tragic loss or good riddance? the impending demise of traditional scholarly journals // *Intern. J. Human-Computer Studies*. — 1995. — P. 71–122.
 - [13] Personalized reputation management in p2p networks. / P.-A. Chirita, W. Nejdl, M. T. Schlosser, O. Scurtu // ISWC Workshop on Trust, Security, and Reputation on the Semantic Web / Ed. by J. Golbeck, P. A. Bonatti, W. Nejdl et al. — Vol. 127 of *CEUR Workshop Proceedings*. — CEUR-WS.org, 2004. <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/semweb/iswc2004trust.html#ChiritaNSS04>.
 - [14] *Price D. J.* The exponential curve of science // *Discovery*. — 1956. — P. 240–243.
 - [15] *Rahman A. A.* The pgp trust model // *EDI-Forum: The Journal of Electronic Commerce*. — 1997. — April.
 - [16] Reputation systems / P. Resnick, K. Kuwabara, R. Zeckhauser, E. Friedman // *Commun. ACM*. — 2000. — December. — Vol. 43, no. 12. — P. 45–48. <http://dx.doi.org/10.1145/355112.355122>.
 - [17] *Richardson M., Agrawal R., Domingos P.* Trust management for the semantic web // *Lecture Notes in Computer Science*. — 2003. — January. — Vol. 2870. — P. 351–368.